Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Änderungen der Gesamtschweißmenge und der in Plastikbeuteln gesammelten Extremitätenschweißmenge bei der Akklimatisation in feuchtheißem und trockenheißem Klima

Ein Beitrag zur Frage der „Schweißdrüsenermüdung"

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Andreas Rühling
aus Salzburg

1970

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547612_0101

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Änderungen der Gesamtschweißmenge und der in Plastikbeuteln gesammelten Extremitätenschweißmenge bei der Akklimatisation in feuchtheißem und trockenheißem Klima

Ein Beitrag zur Frage der „Schweißdrüsenermüdung"

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Andreas Rühling
aus Salzburg

1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. J. Peiffer

1. Berichterstatter: Professor Dr. W. Höfler
2. Berichterstatter: Professor Dr. J.H. Knüttgen

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG • Tübingen

Inhaltsverzeichnis

		Seite
A	Einleitung	1
B	Methodik	2
C	Ergebnisse	5
I	Zusammenfassung der Versuche in Gruppen	5
1	Schweißbildung im feuchtheißen Klima	5
a	Änderungen der Gesamtschweißmengen	5
b	Änderungen der Sackschweißmengen	9
2	Schweißbildung im trockenheißen Klima	9
a	Änderungen der Gesamtschweißmengen	9
b	Änderungen der Sackschweißmengen	13
II	Ergebnisse der Versuche L1 und L2	13
1	Versuch L1	13
a	Änderungen der Gesamtschweißmengen	13
b	Änderungen der Sackschweißmengen	14
2	Versuch L2	14
a	Änderungen der Gesamtschweißmengen	14
b	Änderungen der Sackschweißmengen	15
D	Diskussion der Ergebnisse	16
E	Zusammenfassung	22
F	Literaturverzeichnis	23

A) Einleitung

Einwirkungen auf die konstante Temperatur des menschlichen Organismus erfolgen einerseits durch innere Wärmeproduktion (Muskelarbeit, Stoffwechselvorgänge) und Wärmeaufnahme von außen (Strahlung, Konvektion), andererseits durch Wärmeabgabe des Körpers. Diese Wärmeabgabe geschieht durch Strahlung, Konvektion und Wasserabgabe (Perspiratio insensibilis und sensibilis). Strahlung und Konvektion führen Wärme zu, sobald die Umgebungstemperatur höher ist als die Hauttemperatur. Wenn der Stoffwechsel und der Nettowärmeaustausch mit der Umgebung einen Wärmegewinn für den Körper bedeuten, bleibt ihm nur eine Wärmeabgabe durch Schwitzen (MITCHELL, WYNDHAM et al. 1968).

Die Schweißbildung beginnt beim nackten ruhenden Menschen bei einer Umgebungstemperatur von 31° C (LADELL 1945, ROBINSON 1949). Beim arbeitenden Menschen steigt der Wärmeinhalt des Körpers durch die endogene Wärmeproduktion stärker an. Entsprechend muß er schon bei einer niedrigeren Raumtemperatur zu schwitzen anfangen. Dabei kann bei starker Hitzebelastung die Schweißproduktion beträchtliche Ausmaße erreichen, für kurze Zeit bis zu 4 l/h (ROBINSON 1949).

Bei länger dauernder Hitzebelastung kann die anfänglich große Schweißmenge wieder absinken. Über den Mechanismus dieser Schweißdrüsenermüdung (GERKING und ROBINSON 1946) besteht noch keine Klarheit. Sie kann aber bis zu vollständigem Sistieren der Schweißdrüsenaktivität und damit zu einer Wärmestauung führen (MANSON 1940, zitiert nach LADELL 1945). Die Folgen dieser Wärmestauung sind Krankheitserscheinungen wie Hitzeerschöpfung und Hitzschlag.

GERKING und ROBINSON (1946) fanden bei Untersuchungen an akklimatisierten Versuchspersonen, daß das Schweißdrüsenversagen in feuchtheißem Klima früher eintritt als in trockenheißem. BREBNER und KERSLAKE (1962, 1968) beschrieben ein starkes Schweißdrüsenversagen bei unakklimatisierten Versuchspersonen in feuchtheißem Klima. Die Wasserdampfsättigung der Umgebung hat offenbar einen Einfluß auf die Funktionsfähigkeit der Schweißdrüsen.

In dieser Arbeit soll die Schweißdrüsenermüdung unter verschiedenen Klimabedingungen untersucht werden. Eine zweite Frage ist, ob dabei im Verlauf der Akklimatisation Änderungen auftreten.

B) Methodik

Der Untersuchung liegen Daten aus acht Akklimatisationsversuchen unter verschiedenen Klimabedingungen zugrunde. Die Trockentemperaturen betrugen, je nach Versuch, zwischen 44,9 und 36,2°C, die Feuchttemperaturen zwischen 25,8 und 32,0°C. Zur Aufrechterhaltung dieser Bedingungen stand eine Klimakammer der Firma Meisser und Wurst, Stuttgart, zur Verfügung (Länge 360cm, Breite 230cm, Höhe 200cm). Die Vp. blieben entweder über den ganzen Versuchszeitraum (L 1, Me, Schw) oder nur einige Stunden täglich in der Klimakammer. Die einzelnen Versuche dauerten zwischen 18 und 35 Tage (Tab. 1). Vor Beginn der Messungen wurde jeweils eine Ruheperiode von 30 min angesetzt, während derer die Vp. in einem Sessel saß. Anschließend mußte sie für eine bestimmte Zeit definierte Arbeiten an einem Fahrradergometer leisten (Tab. 1). Das Arbeitsprogramm war so eingeteilt, daß nach 30 bis 50 min eine Ruhepause eingeschaltet wurde. Die Vp. konnte selbst bestimmen, wann sie mit der nächsten Arbeit beginnen wollte (durchschnittliche Dauer der Pausen 10 bis 20 min).

Während der ersten und letzten Arbeit (in den Versuchen Wr und Mb nur während der ersten Arbeit) wurde am Unterarm in Höhe des Ellbogens und am Unterschenkel dicht unterhalb des Knies jeweils einer Körperseite ein Plastikbeutel befestigt und so der am Unterarm und Unterschenkel (einschließlich Hand und Fuß) gebildete Schweiß aufgefangen.

Während der Ergometerarbeit wurde der Wasserverlust der vorhergegangenen Arbeit jeweils durch körperwarmen Tee und andere Getränke ersetzt.

Gemessen wurden:

1) Das Gewicht zu Beginn und am Ende der ersten und am Ende jeder weiteren Arbeit. Dabei wurde eine Waage mit einer Genauigkeit von 50g benützt. Die während der vorausgegangenen Arbeit aufgenommene Flüssigkeitsmenge wurde jeweils berücksichtigt. Der Gewichtsverlust entspricht der während der Arbeit gebildeten Gesamtschweißmenge. Sie wurde in ml/h umgerechnet.

2) Die in den Plastiksäcken aufgefangene Schweißmenge. Sie wurde in ml/h umgerechnet.

3) Die Kerntemperatur nach der initialen Ruheperiode und nach jeder Arbeitsperiode.

Vp.	Dauer der einzelnen Arbeiten (min)	Anzahl d.aufeinanderfolg. Arbeiten während d.tgl.Prog.	Arbeitsbelastg. (mkp/sec)	Trockentemp. (°C)	Feuchttemp. (°C)	Relative Feuchtigk.	Vers.-tage	Alter (J)	Gew. (kg)	Größe (cm)
Mb	30	2	8	36,5	31,3	70%	20	22	73	178
Wr	30	2	8	36,2	30,9	69%	23	29	70	181
Bo	40	3	7	36,5	32,0	76%	18	27	63	174
L1	40	4	8	36,5	31,3	69%	35	25	80	189
L2	40	4	8	44,3	25,8	23%	25	28	84	189
Schw	50	4	8	41,4	27,8	35%	31	27	75	176
Wa	45	4	10	44,7	27,0	25%	25	29	83	180
Me	45	4	10	44,9	26,0	22%	34	24	70	172

Tab. 1

Versuchsbedingungen.

Physische Daten der einzelnen Versuchspersonen.

C) Ergebnisse

I. Zusammenfassung der Versuche in Gruppen

Die Betrachtung der Klimadaten der einzelnen Versuche (Tab. 1) zeigt, daß sich innerhalb der Versuchsreihe zwei Gruppen nach unterschiedlichen Bedingungen zusammenfassen lassen. In einer Gruppe wird die Akklimatisation in einem feuchtheißen Klima untersucht (Mb, Wr, Bo, Ll). Dabei liegt die Trockentemperatur zwischen 36,5° und 36,2°C, die Feuchttemperatur zwischen 30,9°und 32,0°C, die relative Feuchtigkeit zwischen 69% und 76%. In der zweiten Gruppe (Schw, Wa, Me, L2) herrschen eher trockenheiße Bedingungen. Die Trockentemperatur liegt hier zwischen 41,4° und 44,9°C, die Feuchttemperatur zwischen 25,8° und 27,8°C, die relative Feuchtigkeit zwischen 22% und 35%.
Für den Vergleich beider Gruppen werden die Gesamtschweißmengen der verschiedenen Arbeitsperioden und die Extremitätenschweißmengen (Sackschweissmengen) und die Änderungen dieser Grössen mit der Hitzeakklimatisation ausgewertet.
Weil die einzelnen Versuche unterschiedlich lange dauerten, sollen hier besonders die Schweißmengen des 1. bis 5. Tages und die des 16. bis 20. Tages betrachtet werden, so daß alle acht Versuche in den Vergleich einbezogen werden können.

1) Schweißbildung im feuchtheißen Klima

a) Änderungen der Gesamtschweißmengen

Die mittlere Schweißmenge der ersten 5 Tage in der ersten Arbeit beträgt 570 ml/h. Bis zum 16. bis 20. Tag findet ein Anstieg auf 812 ml/h statt. Der Anfangswert der zweiten Arbeit liegt bei 601 ml/h. Er erreicht am 16. bis 20. Tag 933 ml/h, überschreitet also wieder den Wert der ersten Arbeit. Die Schweißproduktion der dritten Arbeit geht von einem niedrigeren Wert (528 ml/h) aus und steigt auf 720 ml/h am 16. bis 20. Tag. Während der vierten Arbeit steigen die Werte von anfangs nur 377 ml/h auf 599 ml/h. Sie liegen also während der ganzen Beobachtungszeit am niedrigsten (Abb. 1, Tab. 2).
Die Absolutwerte der von den einzelnen Vp. produzierten Schweißmengen streuen beträchtlich um die oben angegebenen Mittelwerte (Tab. 2).

Deshalb sollen zur Beurteilung der Schweißbildungsänderung auch die unterschiedlichen Ausgangswerte der einzelnen Vp. berücksichtigt werden. Dazu wird bei jeder Vp. die Gesamtschweißmenge der ersten Arbeit (Mittelwerte des 1. bis 5., bzw. des 16. bis 20. Tages) als Vergleichswert 100% eingesetzt und die in den folgenden Arbeiten gemessenen Schweißmengen als Prozentsatz der ersten Arbeit angegeben. In den ersten 5 Tagen beträgt die Schweißproduktion der zweiten Arbeit 107,5%, die der dritten Arbeit 91,5%, die der vierten 66% der ersten Arbeit. Die Unterschiede sind allerdings nur für die 4. Arbeit statistisch gesichert.

Zwischen dem 16. und 20. Tag werden während der zweiten Arbeit 115%, der dritten Arbeit 85% und der vierten Arbeit 74% der Schweißproduktion der ersten Arbeit erreicht (Tab. 2). Auch hier läßt sich der Unterschied nur für die vierte Arbeit statistisch sichern. Da in dieser Versuchsgruppe nur eine Vp. täglich vier Arbeiten durchgeführt hat, sind aber auch die großen Differenzen während der vierten Arbeit nur mit Vorsicht zu bewerten.

Um die Änderung der Schweißproduktion während des Akklimatisationsverlaufs beurteilen zu können, werden die zwischen 16. und 20. Tag gemessenen Werte als Prozentsatz der Werte der ersten 5 Tage angegeben (Tab. 3). Dabei findet sich in der ersten Arbeit ein mittlerer Anstieg um 44%, in der zweiten um 61%, in der dritten um 51% und in der vierten um 59%. Statistisch signifikant sind allerdings nur die Anstiege während der ersten und zweiten Arbeit.

Abb. 1 zeigt, daß die stärkste Zunahme der Schweißproduktion bis zum 15. Tag stattfindet. Für die erste Arbeit findet sich sogar schon nach dem 10. Tag ein konstantes Niveau, unterbrochen von einem weiteren, vorübergehenden Anstieg zwischen dem 21. und 25. Tag. Lediglich die Schweißproduktion während der zweiten Arbeit nimmt bis zum 25. Tag kontinuierlich zu. Die Schweißbildung der dritten Arbeit fällt zwischen dem 16. und 20. Tag vorübergehend ab, übersteigt danach aber die vorhergehende Höhe. Bei der vierten Arbeit wird ein konstanter Wert vom 16. Tag an erreicht.

Schweißmengen während der Akklimatisationsversuche, jeweils zusammengefaßt für den 1. bis 5. Tag und 16. bis 20. Tag.

	1. bis 5. Tag												16. bis 20. Tag											
	Gesamtschweißmengen								Sackschweißmengen				Gesamtschweißmengen								Sackschweißmengen			
	1.Arb.		2.Arb.		3.Arb.		4.Arb.		1.Arb.		4.Arb.		1.Arb.		2.Arb.		3.Arb.		4.Arb.		1.Arb.		4.Arb.	
	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%	ml/h	%
Mb	456	100	537	118	-	-	-	-	62	13,5	-	-	712	100	801	113	-	-	-	-	258	36	-	-
Wr	671	100	577	86	-	-	-	-	61	9	-	-	856	100	1173	137	-	-	-	-	297	35	-	-
Bo	571	100	823	144	698	122	-	-	68	12	27	3,9	808	100	964	119	739	91	-	-	206	25,5	108	15
Ll	583	100	468	82	357	61	377	65	22	3,8	8	2,1	874	100	793	91	700	80	599	685	94	11	84	14
L2	776	100	785	101	758	98	779	100	37	4,8	33	4,2	841	100	831	99	748	89	947	116	121	14,4	97	10,2
Schw	684	100	726	106	704	103	720	105	62	9,1	43	6	815	100	820	101	798	98	823	101	97	11,9	94	11,4
Wa	1002	100	896	89	991	99	1103	110	92	9,2	46	4,2	1122	100	1290	115	1043	93	1131	101	196	17,5	89	7,9
Me	811	100	867	107	908	112	802	99	44	5,4	40	5	1061	100	1102	104	1031	97	1221	115	91	8,6	117	9,6
Zus.fassg. d.Gruppen im feuchtheißen Klima	570 (±88)	100	601 (±154)	107,5	528 (±242)	91,5	377	66	53 (±21)	9,3	18 (±14)	3	812 (±73)	100	933 (±179)	115	720 (±28)	85,5	599	74	214 (±90)	26,4	96 (±17)	14,5
Zus.fassg. d.Gruppen im trockenheissen Klima	818 (±134)	100	819 (±77,5)	101	840 (±133)	103	851 (±171)	104	59 (±24,5)	7,1	40,5 (±5,5)	5	960 (±154)	100	1011 (±227)	105	919 (±137)	94	1031 (±179)	108	126 (±48)	13,1	99 (±12)	9,8

Tab. 2 Die Gesamtschweißmengen der 2.,3. und 4. Arbeit sind als prozentualer Anteil der Gesamtschweißmenge der 1. Arbeit angegeben. Die Sackschweißmengen der 1. und 4. Arbeit sind als prozentualer Anteil der zugehörigen Gesamtschweißmengen angegeben.

	Gesamtschweißmengen				Sackschweißmengen	
	1.Arb.	2.Arb.	3.Arb.	4.Arb.	1.Arb.	4.Arb.
Mb	156	149	-	-	416	-
Wr	128	204	-	-	486	-
Bo	142	117	106	-	303	400
Ll	150	173	196	159	427	1050
Mittelwert d.Gruppen im feuchtheißen Klima	144	161	151	159	408	725
L2	108	106	99	122	328	294
Schw	119	113	113	114	151	219
Wa	112	144	105	103	214	193
Me	131	127	114	153	207	293
Mittelwert d.Gruppen im feuchtheißen Klima	118	123	108	123	225	247

Tab. 3 Prozentualer Anstieg der Schweißmengen in der Zeit vom 1. bis 5. Tag bis zum 16. bis 20. Tag.
(Mittelwert der Zeit vom 1. bis 5. Tag = 100%)

Zwischen dem 26. und 30. Tag nehmen die Schweißmengen aller vier Arbeiten ab, steigen danach aber wieder über das vorher erreichte Niveau an.
Da in dieser Gruppe nur ein Versuch länger als 23 Tage dauerte, ist der Aussagewert der zuletzt genannten Ergebnisse allerdings sehr eingeschränkt.

b) Änderungen der Sackschweißmengen

Nach der Formel von Dubois und Dubois beträgt die Oberfläche der von den Plastiksäcken eingeschlossenen Körperteile (ein Unterarm mit Hand plus ein Unterschenkel mit Fuß) 14% der Gesamtoberfläche des Körpers. Um die Sackschweißmengen mit den Gesamtschweißmengen vergleichen zu können, ist es also nötig, ihren prozentualen Anteil an der Gesamtschweißmenge der zugehörigen Arbeit anzugeben (Tab 2).
Zu Beginn des Versuchs beträgt die Sackschweißmenge der ersten Arbeit mit 53 ml/h 9,3% der entsprechenden Gesamtschweißmenge, also nicht den ihrer Oberfläche entsprechenden Anteil. Sie steigt während des Akklimatisationsverlaufs stark an. Am 16. bis 20. Tag erreicht sie 214 ml/h und damit 26,4% der Gesamtschweißmenge (Abb. 1). Die beträchtliche Zunahme beruht in erster Linie auf den Ergebnissen der Versuche Mb und Wr. Die Werte der Vp. Bo und Ll liegen sehr viel niedriger. Dabei ist bemerkenswert, daß es sich bei den Vp. Mb und Wr um Afrikaner handelt, die zur Zeit in Deutschland studieren.
Der Anfangswert der vierten Arbeit beträgt mit 18 ml/h nur 3% der Gesamtschweißmenge. Er erreicht aber schon vom 10. Tag an den seiner Oberfläche entsprechenden Anteil. Zwischen dem 16. und 20. Tag beträgt er 96 ml/h, entsprechend 14,5% der Gesamtschweißmenge. Die Sackschweißmenge der ersten Arbeit steigt während der Akklimatisation auf 408 %, die der vierten Arbeit auf 725% ihres Ausgangswertes. Diese Anstiege sind statistisch signifikant (Tab. 3).

2) Schweißbildung im trockenheißen Klima

a) Änderungen der Gesamtschweißmengen

Die Schweißproduktion zu Beginn der Versuche liegt in allen vier Arbeiten nahezu auf gleicher Höhe. Für die erste Arbeit zeigt sich

bis zum 16. bis 20. Tag ein Anstieg von 818 ml/h auf 960 ml/h, für die zweite Arbeit von 819 ml/h auf 1011 ml/h, für die dritte Arbeit von 840 ml/h auf 919 ml/h und für die vierte Arbeit von 851 ml/h auf 1031 ml/h (Abb. 2, Tab. 2). Während des Akklimatisationsverlaufs bis zum 20. Tag steigt also die Schweißmenge der ersten Arbeit auf 118% ihres Ausgangswertes, die der zweiten Arbeit auf 123%, die der dritten auf 108% und die der vierten auf 123% (Tab. 3). Die Unterschiede der beiden ersten Arbeiten sind statistisch signifikant, die der dritten und vierten Arbeit liegen am Rande der Signifikanz.

Wie in der Versuchsgruppe unter feuchtheißen Klimabedingungen soll auch hier für jede Vp. die Schweißmenge der ersten Arbeit zwischen dem 1. und 5., bzw. zwischen dem 16. und 20. Tag als Ausgangswert 100% gesetzt und die Schweißmengen der folgenden Arbeiten prozentual darauf bezogen werden (Tab. 2). Dabei ergibt sich in den ersten 5 Tagen für die zweite Arbeit ein Wert von 101%, für die dritte Arbeit 103% und für die vierte Arbeit 104%, ohne daß diese Unterschiede statistisch zu sichern sind. Am 16. bis 20. Tag erreicht die zweite Arbeit 105% der ersten, die dritte 94%, die vierte 108% (Tab 3). Ein signifikanter Unterschied besteht nur für die dritte Arbeit.

Abb. 2 zeigt, daß zu Beginn der Versuche die Schweißbildung der dritten und vierten Arbeit geringfügig höher als die der ersten und zweiten Arbeit ist. Am 16. bis 20. Tag sind die Werte der zweiten und vierten Arbeit höher als die der ersten, die der dritten liegen am niedrigsten. Die Arbeiten mit der maximalen Schweißbildung wechseln aber über die ganze Versuchsdauer, ohne daß sich eine feste Beziehung feststellen ließe. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Arbeiten sind während des ganzen beobachteten Zeitraums relativ klein. Abb. 2 zeigt weiter, daß der hauptsächliche Anstieg bis zum 15. Tag stattfindet. Zwischen dem 16. und 20. Tag steigen die Werte der zweiten und vierten Arbeit weiterhin leicht an, die der ersten und dritten Arbeit fallen geringfügig ab. Bis zum 20. Tag sieht man eine weitere geringe Zunahme. Die Werte zwischen dem 26. und 30. Tag liegen niedriger als vorher, ein Abfall zur gleichen Zeit wird auch in der Gruppe der Feuchtversuche beobachtet. Nach dem 30. Tag zeigt sich wieder ein Anstieg. Diese Beobachtung stützt sich allerdings nur auf einen einzigen Versuch und ist deshalb vorsichtig zu bewerten.

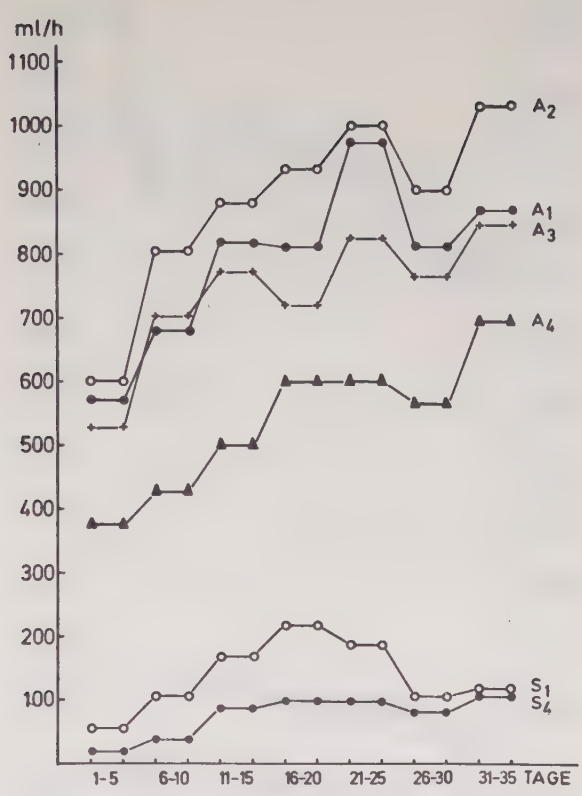

Abb. 1

Zeitlicher Verlauf der Schweissmengen während der Akklimatisation. Mittelwerte aller Versuche im feuchtheissen Klima, jeweils für 5 Tage zusammengefasst.

A_1 Gesamtschweissmenge der 1. Arbeit
A_2 " " 2. Arbeit
A_3 " " 3. Arbeit
A_4 " " 4. Arbeit
S_1 Sackschweissmenge der 1. Arbeit
S_4 " " 4. Arbeit

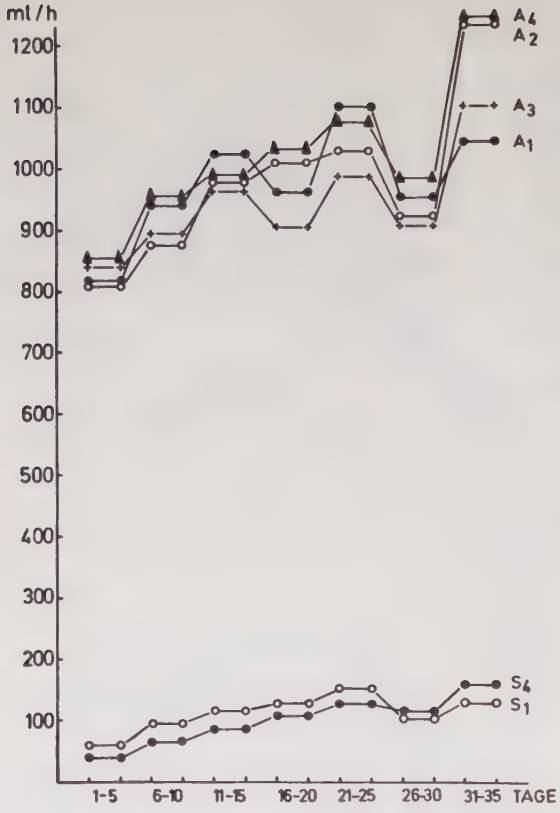

Abb. 2

Zeitlicher Verlauf der Schweissmengen während der Akklimatisation. Mittelwerte aller Versuche im trockenheissen Klima, jeweils für 5 Tage zusammengefasst.

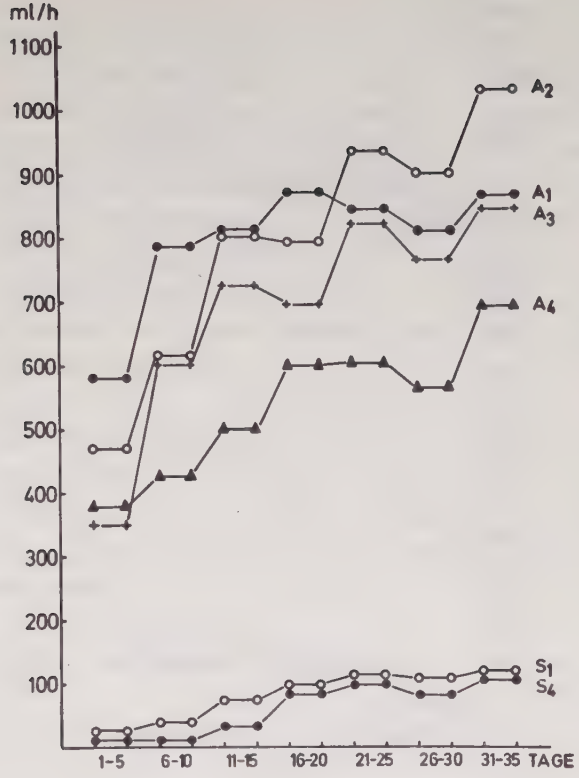

Abb. 3
Zeitlicher Verlauf der Schweissmengen während der Akklimatisation. Werte des Versuchs L 1 im feuchtheissen Klima, jeweils für 5 Tage zusammengefasst.

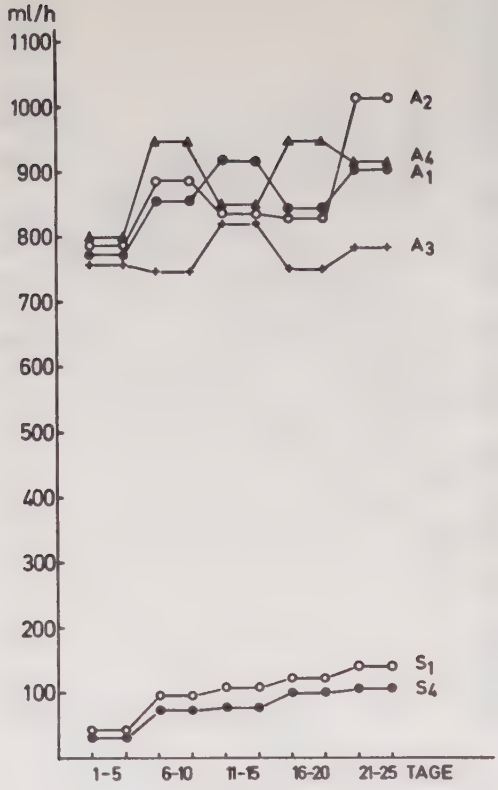

Abb. 4
Zeitlicher Verlauf der Schweissmengen während der Akklimatisation. Werte des Versuchs L 2 im trockenheissen Klima, jeweils für 5 Tage zusammengefasst.

b) Änderungen der Sackschweißmengen (Abb. 2, Tab. 2)

Die Schweißproduktion der ersten Arbeit beträgt zu Versuchsbeginn 59 ml/h, mit 7,1% der Gesamtschweißmenge also kaum die Hälfte der ihrer Oberfläche entsprechenden Menge. Bis zum 16. bis 20. Tag steigt sie auf 126 ml/h und erreicht mit 13,1% der Gesamtschweißmenge fast den der Oberfläche entsprechenden Anteil. Der Ausgangswert der vierten Arbeit liegt noch niedriger bei 40,5 ml/h. Das sind nur 4,9% der zugehörigen Gesamtschweißbildung. Auch zwischen dem 16. und 20. Tag nach einem Anstieg auf 99 ml/h werden nur 9,8% der Gesamtschweißmenge der vierten Arbeit erreicht (Tab. 2, Abb. 2). Die relative Zunahme der Sackschweißmengen ist jedoch sehr erheblich. Bis zum 20. Tag findet während der ersten Arbeit ein Anstieg auf 225%, während der vierten Arbeit ein Anstieg auf 247% des Ausgangswertes statt (Tab. 3).
Abb. 2 zeigt, daß der stärkste Anstieg sowohl während der ersten als auch während der vierten Arbeit bis zum 10. Tag abgeschlossen ist. Eine geringere Zunahme findet sich bis zum 25. Tag. Zwischen dem 26. und 30. Tag fallen die Schweißmengen wiederum vorübergehend ab, um anschließend wieder zuzunehmen.

II. Ergebnisse der Versuche L1 und L2

Die Versuche L 1 und L2 sollen jetzt noch gesondert betrachtet werden. Sie wurden mit der selben Vp. im Abstand von 2 Jahren durchgeführt. Dieser Zeitraum reicht sicher aus, um die während des ersten Versuchs erworbene Akklimatisation wieder verloren gehen zu lassen. Zu Beginn des zweiten Versuchs kann die Vp, also wieder als unakklimatisiert betrachtet werden.
Während des Versuchs L1 befand sich die Vp. 35 Tage lang ununterbrochen in der Klimakammer, während des Versuches L2 25 Tage lang täglich 6 bis 7 Stunden. Der Akklimatisationsverlauf kann also über einen Zeitraum von 25 Tagen verglichen werden.

1) Versuch L1

a) Änderungen der Gesamtschweißmengen

Ausgehend von einem Wert von 583 ml/h in den ersten fünf Tagen

(Tab. 2) beträgt die Schweißmenge der ersten Arbeit zwischen dem 21. und 25. Tag 847 ml/h. Die Werte der zweiten Arbeit liegen zu Beginn mit 468 ml/h niedriger, steigen aber stärker an. Zwischen dem 10. und 15. Tag gleichen sie sich den Werten der ersten Arbeit an und zwischen dem 21. und 25. Tag übertreffen sie sie mit 937 ml/h. Die Anfangswerte der dritten Arbeit liegen noch niedriger bei 357 ml/h. Sie betragen zwischen dem 21. und 25. Tag 825 ml/h, sie haben also die Werte der ersten Stunde nahezu erreicht. Die Anfangswerte der vierten Arbeit übertreffen mit 377 ml/h geringfügig die der dritten. Sie steigen bis zum 20. bis 25. Tag auf 602 ml/h, ihr Abstand zu den Werten der drei ersten Arbeiten ist jetzt also recht groß. (Abb. 3)

b) Änderungen der Sackschweißmengen

Die Sackschweißmengen liegen am Versuchsbeginn sehr niedrig bei 22 ml/h in der ersten und nur 8 ml/h in der vierten Arbeit (Tab. 2). Sie steigen aber relativ stark an. Zwischen dem 21. und 25. Tag erreicht die Sackschweißmenge der ersten Arbeit 108 ml/h oder 13% der zugehörigen Gesamtschweißmenge, in der vierten Arbeit 96 ml/h oder 16% der zugehörigen Gesamtschweißmenge (Abb. 3). Zu dieser Zeit wird also von den von Plastiksäcken umschlossenen Körperteilen genau der ihrer Oberfläche entsprechende Anteil der Gesamtschweißmenge gebildet.

2) Versuch L2

a) Änderungen der Gesamtschweißmengen

Die Anfangswerte sind für alle vier Arbeiten fast gleich: in der ersten Arbeit 776 ml/h, in der zweiten 785 ml/h, in der dritten 758 ml/h, in der vierten 779 ml/h (Tab.2). Bei der ersten Arbeit werden zwischen dem 21. und 25. Tag 904 ml/h erreicht, bei der zweiten 1010 ml/h, bei der dritten 780 ml/h und bei der vierten Arbeit 910 ml/h. Am Ende des Versuchs ist also die Schweißbildung während der zweiten Arbeit am ausgiebigsten, während der dritten am niedrigsten, die während der ersten und vierten Arbeit gemessenen Werte liegen dazwischen auf fast gleicher Höhe (Abb. 4). Die Werte des Versuchs L1 werden (mit Ausnahme der Schweißproduktion der dritten Stunde zwischen dem 21. und 25. Tag) durchweg übertroffen.

b) Änderungen der Sackschweißmengen

Die Sackschweißmengen betragen am Anfang des Versuchs 37 ml/h in der ersten Arbeit und 33 ml/h in der vierten Arbeit, somit 4,8% bzw. 4,2% der entsprechenden Gesamtschweißmengen (Tab. 2). Am Ende des Versuchs zwischen dem 21. und 25. Tag erreichen sie mit 139 ml/h in der ersten und 104 ml/h in der vierten Stunde 14% bzw. 11,5% der zugehörigen Gesamtschweißmenge, also ungefähr den der Oberfläche entsprechenden Anteil (Abb. 4). Sämtliche Werte übertreffen die entsprechenden Werte des Versuchs L1.

D) Diskussion

Wird ein unakklimatisierter Mensch einer Hitzebelastung ausgesetzt, so fängt er zunächst an zu schwitzen. Trotzdem steigt die Rektaltemperatur während der gesamten Hitzeexposition an, die Wärmeabgabe durch Schweiß ist ungenügend. Bei genügend langer Belastung nimmt die anfängliche Schweißmenge außerdem wieder ab. Die Fähigkeit zur Dauerarbeit ist also stark eingeschränkt (HÖFLER und LAASER 1967).

GERKING und ROBINSON(1946) fanden ein solches Schweißdrüsenversagen bei sechsstündigen Hitzeexpositionen in trockenem und feuchtem Klima. Dabei lagen die Werte der dritten Stunde in fast allen Fällen unter denen der ersten und zweiten Stunde. Der Abfall war unter feuchtheißen Bedingungen wesentlich stärker. LADELL (1955) nahm eine kritische Rektaltemperatur an, nach deren Überschreitung die Schweißproduktion sinken soll. In einem experimentellen Klima mit einer relativen Feuchtigkeit von 100% wurde ein Schweißdrüsenversagen bei einer gleichzeitigen Umgebungs- und Rektaltemperatur von 38,4°C festgestellt (BREBNER, KERSLAKE und SOPER 1962). Andererseits fanden COLLINS, CROCKFORD und WEINER (1966), daß nach einer Rektaltemperaturerhöhung kein Schweißdrüsenversagen eintritt, wenn die Vp. durch Kühlung der Haut am Schwitzen gehindert wurde. Hitzeexpositionen, während derer der ganze Körper oder nur die Extremitäten in warmes Wasser eingetaucht wurden, bewirkten an den betreffenden Körperpartien einen stärkeren Abfall der Schweißproduktion. Beim Eintauchen in kaltes Wasser kam es an den betreffenden Stellen dagegen nicht zu einer verminderten Schweißbildung während eines sofort anschließenden Schwitztests (BREBNER und KERSLAKE 1968).

Ein ursächlicher Faktor für das Schweißdrüsenversagen scheint also zu sein, daß die Haut mit erhöhter Temperatur und somit aktiven Schweißdrüsen über eine längere Zeit ständig mit Wasser bedeckt ist. Dabei nimmt sowohl die Empfindlichkeit gegenüber einer Temperaturerhöhung als auch die Kapazität der Schweißbildung ab (WYNDHAM, STRYDOM et al. 1966).

Das Schweißdrüsenversagen zeigt sich auch beim Vergleich unserer Ergebnisse unter verschiedenen Klimabedingungen. Während der ersten

fünf Tage nimmt im trockenheißen Klima die Gesamtschweißproduktion nicht ab, sondern steigt sogar leicht an, weil dank der niedrigen Wasserdampfsättigung der gebildete Schweiß weitgehend verdunsten kann. Es tritt also kein Versagen der Schweißproduktion ein. Im feuchtheißen Klima unter ungünstigen Verdunstungsbedingungen ist die Haut ständig von Schweiß bedeckt und es wird während der vierten Arbeit signifikant weniger Schweiß produziert als während der ersten.

Frühere Untersuchungen ergaben, daß die Schweißproduktion unakklimatisierter Personen in einem trockenheißen Klima wesentlich größer ist, als in einem äquivalenten feuchtheißen (HÖFLER 1968, SCHWEMMLEIN). Das wird bestätigt durch die Ergebnisse dieser Arbeit. Die anfänglichen Gesamtschweißmengen im trockenheißen Klima während der ersten, zweiten und vierten Arbeit liegen nämlich signifikant höher als im feuchtheißen.

Damit läßt sich auch die Hypothese nicht aufrechterhalten, daß es bei einer großen initialen Schweißmenge zu einem stärkeren Abfall käme (GERKING und ROBINSON 1946, COLLINS und WEINER 1962). Nicht die pro Zeiteinheit gebildete Schweißmenge bestimmt das nachfolgende Versagen, sondern der Anteil, der unverdunstet auf der Haut liegenbleibt.

Extrem ungünstige Verdunstungsbedingungen herrschen in den Arm- und Beinsäcken, in denen eine relative Feuchtigkeit von 100% angenommen werden kann. COLLINS und WEINER (1962) fanden dementsprechend auch ein schnelles Versagen der Schweißbildung in Armsäcken, während am übrigen Körper noch keine Abnahme festzustellen war. Das gleiche Ergebnis zeigen die vorliegenden Versuche. Unter trockenheißen Bedingungen beträgt in den ersten 5 Tagen die Sackschweißmenge der ersten Arbeit nur etwa 7% der Gesamtschweißmenge bei einem Anteil von 14% der Körperoberfläche. Im feuchtheißen Klima sind die Bedingungen innerhalb und außerhalb der Säcke weniger unterschiedlich. Die Sackschweissmenge der ersten Arbeit erreicht 9,3% der Gesamtschweissmenge.

Beim Schweißdrüsenversagen kommt es zu einer schnellen Erholung, wenn die Vp. günstigeren Verdunstungsbedingungen ausgesetzt wird

(COLLINS und WEINER 1962, BREBNER und KERSLAKE 1968). In der vorliegenden Untersuchung war das immer dann der Fall, wenn die Vp. während der zweiten und dritten Arbeit keine Plastiksäcke um Unterarm und Unterschenkel trug. Eine ausreichende Erholung scheint aber nur im trockenheißen Klima möglich gewesen zu sein. Es besteht nämlich bei den Versuchen L1 und L2 ein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den Sackschweißmengen der vierten Arbeit der ersten fünf Tage; bei den beiden Versuchsgruppen liegt der Unterschied am Rande der Signifikanz. Die Sackschweißmengen der vierten Arbeit erreichen aber in beiden Versuchsgruppen nicht 14% der Gesamtschweißmenge. Die ungünstigen Bedingungen in den Arm- und Beinsäcken bewirken dort also während der vierten Arbeit eine Abnahme der Schweißbildung, die den Abfall der Gesamtschweißproduktion noch übertrifft.

Im Verlauf der Hitzeakklimatisation kommt es zu einer Änderung der körperlichen Reaktion auf die Hitzebelastung. Die Schweißmengen steigen an, die Zunahme von Rektaltemperatur und Pulsfrequenz wird geringer. Der Anstieg der Rektaltemperatur, der bei unakklimatisierten Personen während der ganzen Dauer der Hitzeexposition stattfindet, verlagert sich mehr auf die erste Stunde (LAASER 1968). Außerdem beginnt die Schweißproduktion schon bei einer niedrigeren Rektaltemperatur (COLLINS, CROCKFORD und WEINER 1966). Die Zunahme der Schweißproduktion ist wohl der wesentlichste Faktor der Akklimatisation, weil sie eine ausgiebigere Wärmeabgabe gestattet (HÖFLER 1968).

Die Zunahme der Schweißbildung kann auch ohne Erhöhung der Rektaltemperatur erreicht werden. Direkte Stimulierung der Schweißdrüsen eines Armes über längere Zeit, z.B. durch Bestrahlung, führt dort zu einer stärkeren Reaktion auf den gleichen Stimulus (COLLINS, CROCKFORD und WEINER 1966). Umgekehrt kann eine Schweißproduktionszunahme auch bei erhöhter Rektaltemperatur verhindert werden, wenn der Körper während der Hitzeexposition am Schwitzen gehindert wird (COLLINS, CROCKFORD und WEINER 1963, FOX, GOLDSMITH et al. 1962). Die während der Akklimatisation erreichte Fähigkeit zur vermehrten Schweißbildung beruht also offenbar auf einem lokalen Training der Schweißdrüsen (COLLINS, CROCKFORD und WEINER 1963).

Die Umstellung ist nach LAASER (1968) und HÖFLER (1968) in drei

Wochen beendet. Diese Ergebnisse können bei den vorliegenden Akklimatisationsverläufen im trockenheißen Klima bestätigt werden, bei denen vom 10. bis 15. Tag an schon fast das endgültige Niveau der Schweißproduktion erreicht wird (Abb.2). Die Akklimatisation im feuchtheißen Klima nimmt offenbar längere Zeit in Anspruch: Abb. 1 zeigt zunehmende Schweißwerte bis zum 25. Tag.

Die Schweißproduktion, die in trockenem Klima bei unakklimatisierten Personen schon ziemlich hoch ist, steigt im Verlauf der Akklimatisation weniger stark an als in feuchtheißem Klima. HÖFLER (1968) und SCHWEMMLEIN geben eine Zunahme bis um 30% an. Bis zum 20. Tag wurden in den hier dargestellten Versuchen zwischen 8 und 23% Zunahmen erreicht. Der Anstieg im feuchtheißen Klima ist stärker, er beträgt zwischen 44 und 61%. Der Unterschied zu den Angaben von HÖFLER und SCHWEMMLEIN, die eine Zunahme bis zu 100% und mehr fanden, kann zum Teil darauf beruhen, daß die Akklimatisation im feuchten Klima ja mit dem 20. Tag noch nicht abgeschlossen ist.

Mit der Akklimatisation der Vp. werden die Unterschiede zwischen den Schweißmengen beider Versuchsgruppen in allen vier Arbeiten geringer. Weil im feuchten Klima die Akklimatisation mit dem 20. Tag noch nicht abgeschlossen ist, ist anzunehmen, daß die Unterschiede später noch kleiner werden.

Im Bereich der hier vorliegenden Schweißmengen zwischen 800 und 1000 ml/h läßt sich die im feuchtheißen Klima beobachtete Abnahme der Schweißmenge mit der Expositionsdauer also kaum zutreffend als "Schweißdrüsenermüdung" bezeichnen. Es liegt viel näher, das Phänomen mit BREBNER und KERSLAKE (1968) auf die Hautfeuchte zu beziehen. Durch Verquellung der oberflächlichen Hornhautschichten wird der Austritt von Schweiß aus den Ausführungsgängen der Schweißdrüsen auf die Hautoberfläche behindert. Im besonderen Maße wirkt sich dieser Mechanismus an den in Plastikbeuteln eingeschlossenen Extremitäten aus. Mit fortschreitender Hitzeakklimatisation wird diese Behinderung aber immer geringer, so daß schließlich in der 4. Stunde - auch unter feuchtheißen Bedingungen nahezu die gleiche Schweißmenge unter diesen extrem ungünstigen Bedingungen produziert wird wie in der 1. Stunde.

Die stärkste Schweißbildungszunahme läßt sich bei den Sackschweißen

feststellen (Tab. 3). Sie übertrifft bei weitem diejenige der Feuchtversuche. Diese Beobachtung stimmt überein mit den Ergebnissen von VAN HEYNINGEN und WEINER (1952), COLLINS und WEINER (1962), SCHMOLL (1966), LAASER (1968). In Versuch Ll steigen die Sackschweißwerte der vierten Arbeit bis zum 20. Tag sogar auf über 1000% ihres Ausgangswertes. Allerdings wurden zu Beginn der Akklimatisation in allen Versuchen während der vierten Arbeit nur sehr niedrige Sackschweißmengen gefunden. Im feuchtheißen Klima erreichen die Sackschweiße der vierten Arbeit zwischen 16. und 20. Tag 14% der Gesamtschweißmenge, also den dem Oberflächenanteil entsprechenden Wert. Da sich die Verdunstungsbedingungen nicht geändert haben, muß also die Widerstandsfähigkeit der Schweißdrüsen gegen die zum Versagen führenden Faktoren zugenommen haben.

Überaus hohe Werte werden zwischen dem 16. und 20. Tag bei den Sackschweißen der ersten Arbeit im feuchtheißen Klima erreicht. Sie betragen mehr als 25% der in den entsprechenden Arbeiten produzierten Gesamtschweißmengen. Es wurde schon gesagt, daß diese Werte auf den Ergebnissen der Versuche Mb und Wr beruhen, und daß beide Versuchspersonen Afrikaner sind, die zur Zeit in Deutschland studieren. Im Versuch Mb fällt weiterhin auf, daß der Anstieg der Gesamtschweißmengen schon sehr früh abgeschlossen ist. Eine mögliche Erklärung ist die Tatsache, daß die Schweißdrüsen in der frühen Kindheit gebildet werden und ihre Anzahl und Verteilung klimaabhängig ist. (ROBINSON 1949) Bei einer größeren Schweißdrüsendichte könnten, zumal bei der durch die Akklimatisation erreichten größeren Kapazität, auch größere Schweißmengen gebildet werden. Ob diese Erklärung zutrifft, müßte durch eine vergleichende Untersuchung von Vp., die unter verschiedenen Klimabedingungen aufgewachsen sind, nachgeprüft werden.

Neben einer allgemein vermehrten Schweißproduktion führt die Akklimatisation zu einer Umverteilung der Schweißbildung. Bei unakklimatisierten Personen schwitzen die Extremitäten weniger, als ihrer Oberfläche entspricht. Bei einem Oberflächenanteil von 60% bilden sie nur 30 bis 40% des gesamten Körperschweißes. Während der Akklimatisation nimmt ihr Anteil an der Gesamtschweißmenge auf 50% zu. (SCHMOLL 1967, LAASER 1968, SCHWEMMLEIN). Für den Organismus bedeutet

das die stärkere Einbeziehung von Körperteilen mit günstigeren Verdunstungsbedingungen und damit eine ökonomischere Ausnutzung des Wasserverlusts durch die Schweißbildung. Bei gleicher Wasserabgabe kann ein stärkerer Kühlungseffekt erzielt werden. Der starke Anstieg der Sackschweißmengen, die ja an den Extremitäten gewonnen wurden, beruht sicher zum Teil auch auf dieser örtlichen Umverteilung der Schweißbildung.

E) Zusammenfassung

1) Der Untersuchung liegen Daten aus acht Akklimatisationsversuchen zugrunde. Vier davon wurden unter feuchtheißen, vier unter trockenheißen Bedingungen durchgeführt. Eine Vp. nahm an je einem Versuch in beiden Gruppen teil.

2) Gemessen wurden die während des Aufenthalts in der Klimakammer unter definierter Arbeitsbelastung produzierten Schweißmengen. Zusätzlich wurde während der ersten und letzten Arbeit ein Plastiksack um je einen Unterarm und Unterschenkel der Vp. befestigt und der an diesen Körperteilen produzierte Schweiß gemessen.

3) Zu Beginn der Versuche zeigt sich kein Schweißdrüsenversagen bei den Vp. in trockenheißem Klima. Bei den Vp. mit feuchtheißen Klimabedingungen tritt ein Rückgang der Schweißproduktion in der vierten Stunde ein. Die Schweißproduktion in den Armsäcken liegt in beiden Gruppen unter dem der Oberfläche entsprechenden Anteil der Gesamtschweißmenge.

4) Im Verlauf der Akklimatisation steigt die Schweißproduktion. Der Anstieg ist gering unter trockenheißen Bedingungen, stärker in feuchtheißem Klima, weitaus am größten bei den Sackschweißmengen.

F) Literaturverzeichnis

BREBNER, D.F. and D.McD. KERSLAKE: The effects of soaking the skin in water at various temperatures on the subsequent ability to sweat. J. Physiol. 194, 1-11 (1968)

BREBNER, D.F., D.McK. KERSLAKE and D.G. SOPER: Some effects of exposure to an environment of saturated air at mouth temperature. J. Physiol. 162, 244-258 (1962)

COLLINS, K.J., G.W. CROCKFORD and J.S. WEINER: The role of glandular activity in the increased sweat response of heat acclimatisation. J. Physiol. 196, 12P (1963)

COLLINS, K.J., G.W. CROCKFORD and J.S. WEINER: The local training effect of secretory activity on the response of eccrine sweat glands. J. Physiol. 184, 203-214 (1966)

COLLINS, K.J. and J.S. WEINER: Observations on arm-bag suppression of sweating and its relationship to the thermal sweat-gland "fatigue". J. Physiol. 161, 538-556 (1962)

DU BOIS, D. and E.F. DU BOIS: A formular to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Archs. intern. Med. 17, 863-871 (1916)

FOX, R.H., R. GOLDSMITH, I. HAMPTON, H.E. LEWIS: The mechanisms of the increase in sweating capacity induced by heat acclimatisation. J. Physiol. 162, 59P f. (1962)

GERKING, S.D. and S.ROBINSON: Decline in the rates of sweating of men, working in severe heat. Amer. J. Physiol. 147, 370 (1946)

HÖFLER, W: Hitzeakklimatisation. Hippokrates 39, 14 (1968)

HÖFLER, W und U. LAASER: Schweißmenge, Kerntemperaturanstieg und Höhe der Kerntemperatur bei der Hitzeakklimatisation. Pflüg. Arch. 297, R.79 (1967)

LAASER, U.: Physiologische Reaktionen während eines fünfwöchigen Daueraufenthaltes in einem künstlichen feuchtheißen Klima. Int. Z. angew. Physiol. einschießl. Arbeitsphysiol. 25, 279-302 (1968)

LADELL, W.S.S.: Thermal sweating. Brit. Med. Bull. 3, 175-179 (1945)

LADELL, W.S.S.: The decline in sweating with raised rectal temperature. J. Physiol. 129, 8P (1955)

MITCHELL, D., C.H. WYNDHAM, A.R. ATKINS, A.J. VERMEULEN, H.S. HOFMEYER, N.B. STRYDOM and T. HODGSON: Direct measurement of the thermal responses of nude resting men in dry environments. Pflüg. Arch. 303, 324-343 (1968)

ROBINSON, S.: Physiological adjustments to heat. In: Physiology of Heat Regulation (edited by L.H. Newburgh, Philadelphia - London 1949)

SCHMOLL, D.: Phasen der Akklimatisation an Hitzearbeit während eines dreiwöchigen Daueraufenthaltes in einem feuchtheißen Klima. Dissertation Tübingen 1967

SCHWEMMLEIN, P. : Dissertation Tübingen, in Vorbereitung.

VAN HEYNINGEN, R. und J.S. WEINER: A comparison of arm-bag sweat and body sweat. J. Physiol. 116, 395-403 (1952)

WYNDHAM, C.H., N.B. STRYDOM, J.F. MORRISON, C.G.W. WILLIAMS, G.A. BREDELL and J. PETER: Fatigue of the sweat gland response. J. Appl. Physiol. 21, 107-110 (1966)

Herrn Professor Dr. W. Höfler danke ich dafür, daß er mir das Thema zu dieser Arbeit gegeben und mich bei deren Ausführungen unterstützt hat.
Dem Direktor des Tropenmedizinischen Instituts der Universität Tübingen, Herrn Professor Dr. H.J. Knüttgen danke ich für die Erlaubnis zur Benützung der Institutseinrichtungen.
Fräulein I. Hermann, Herrn W. Fischer und Herrn J. Wallis danke ich für ihre Hilfe bei der Versuchsdurchführung.

Lebenslauf

Am 1. September 1943 wurde ich, Andreas Rühling, in Salzburg/Österreich geboren.
Von 1950 bis 1954 besuchte ich die Volksschule in Röhrda, anschließend bis zum Abitur im Jahre 1963 die Gerhart-Hauptmann-Schule in Sontra.
1964 begann ich das Studium der Medizin an der Philipps-Universität in Marburg/Lahn. 1966/67 studierte ich ein Jahr an der Universität zu Wien, von 1967 bis 1969 an der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen, wo ich im Februar 1970 mein medizinisches Staatsexamen abgelegt habe.